

**Е. В. ЛАКТИОНОВ, В. И. КУЗЬМЕНКО, Н. В. БИБА, В. Н. ЛЕВЧЕНКО**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ГАЙКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ**

Холодная объемная штамповка применяется для изготовления деталей сложной формы из металлов и сплавов, обладающих достаточной пластичностью. Отсутствие нагрева позволяет получить точные заготовки и детали с высоким качеством поверхности. Применение объемной штамповки позволяет получить детали, не требующие или почти не требующие дальнейшей механической и термической обработки. К числу операций холодной объемной штамповки относятся: осадка, объемная формовка, холодное выдавливание, высадка, чеканка, клеймение. Такая обработка часто осуществляется за несколько операций, что обеспечивает постепенное и последовательное изменение формы: от начальной до заданной. Для увеличения пластичности и снижения сопротивления деформированию используют предварительный и межоперационные отжиги. Детали, изготовленные холодной объемной штамповкой, имеют высокую точность и отличаются коэффициентом использования материала свыше 90%. Некоторые из них невозможно или не рационально получать, используя другие методы обработки. В работе представлены результаты исследования процесса холодного выдавливания гайки специальной для автомобилестроения с применением численного моделирования процесса методом конечных элементов и использованием программы QForm VX. Рассмотрены различные варианты холодного выдавливания гайки, которые включают высадку, прямое, обратное и комбинированное выдавливание. С помощью программного пакета QFormVX были промоделированы переходы холодной штамповки, а также были получены графики деформаций, интенсивности напряжений. Определены максимальные усилия деформации, что позволило выбрать оборудования для гайки специальной для автомобилестроения. Полученные результаты дают возможность продолжить расчет данной детали и усовершенствовать ее конфигурацию для решения проблем, связанных с технологией изготовления гайки специальной для автомобилестроения.

**Ключевые слова:** холодная объемная штамповка, выдавливание, прямое выдавливание, обратное выдавливание, комбинированное выдавливание, фланец.

**Є. В. ЛАКТИОНОВ, В. І. КУЗЬМЕНКО, М. В. БІБА, В. М. ЛЕВЧЕНКО**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ГАЙКИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ДЛЯ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ**

Холодна об'ємна штампування застосовується для виготовлення деталей складної форми з металів і сплавів, що володіють достатньою пластичністю. Відсутність нагріву дозволяє отримати точні заготовки і деталі з високою якістю поверхні. Застосування об'ємного штампування дозволяє отримати деталі, які не потребують або майже не потребують подальшої механічної і термічної обробки. До числа операцій холодного об'ємного штампування відносяться: осадку, об'ємна формування, холодне видавлювання, висадка, карбування, таврування.

Така обробка часто здійснюється за кілька операцій, що забезпечує поступове і послідовне зміна форми: від початкової до заданої. Для збільшення пластичності і зниження опору деформації використовують попередній і між операційні отжиги. Деталі, виготовлені холодною об'ємним штампуванням, мають високу точність і відрізняються коефіцієнтом використання матеріалу понад 90%. Деякі з них неможливо або не раціонально отримувати, використовуючи інші методи обробки.

В роботі представлені результати дослідження процесу холодного видавлювання гайки спеціальної для автомобілебудування із застосуванням чисельного моделювання процесу методом кінцевих елементів і використанням програми QForm VX. Розглянуто різні варіанти холодного видавлювання гайки, які включають висадку, пряме, зворотне і комбіноване видавлювання. За допомогою програмного пакету QFormVX були промодельовані переходи холодного штампування, а також були отримані графіки деформацій, інтенсивності напружень. Визначено максимальні зусилля деформації, що дозволило вибрати обладнання для гайки спеціальної для автомобілебудування. Отримані результати дають можливість продовжити розрахунок даної деталі і вдосконалити її конфігурацію для вирішення проблем, пов'язаних з технологією виготовлення гайки спеціальної для автомобілебудування.

**Ключові слова:** холодна об'ємна штампування, видавлювання, пряме видавлювання, зворотне видавлювання, комбіноване видавлювання, фланець.

**Y. V. LAKTIONOV, V. I. KUZMENKO, M. V. BIBA, V. M. LEVCHENKO**

## **RESEARCH AND IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF COLD EXTRACTING NUT SPECIAL FOR AUTOMOBILE INDUSTRY**

Cold forging is used for the manufacture of parts of complex shape from metals and alloys with sufficient ductility. Lack of heating allows to obtain accurate workpieces and parts with high surface quality. The use of die forging allows to obtain parts that do not require or almost do not require further mechanical and heat treatment. The operations of cold forging include sediment, volumetric molding, cold extrusion, disembarkation, chasing, branding. Such processing is often carried out for several operations, which provides a gradual and consistent change in form: from initial to specified. To increase the plasticity and reduce the resistance to deformation, preliminary and interoperative annealing is used. Parts manufactured by cold forging have high accuracy and differ in the material utilization factor of over 90%. Some of them are impossible or not rationally obtained using other processing methods. The paper presents the results of the study of the process of cold extrusion nuts special for the automotive industry using numerical simulation of the process by the finite element method and using the program QForm VX. Various options for cold extrusion of a nut are considered, which include upsetting, forward, reverse and combined extrusion. Using the QFormVX software package, cold stamping transitions were simulated, and strain graphics and stress intensity were obtained. The maximum deformation forces were determined, which made it possible to choose equipment for a special nut for the automotive industry. The results obtained make it possible to continue the calculation of this part and improve its configuration to solve problems associated with the technology of manufacturing nuts special for the automotive industry.

**Key words:** cold loading stamp, production, direct production, refractory production, combined production, flange.

**Введение.** Холодное выдавливание является эффективным способом получения деталей типа колпачковая гайка, так как позволяет получать точные

заготовки практически без припусков на механическую обработку [1-9]. Однако его внедрение сопровождается возникновением ряда проблем, решение которых

зависит от качества разработки технологического процесса, конструкции оснастки и, прежде всего, конструкции матрицы и условий контактного трения. Поэтому исследование и разработка процесса холодного выдавливания деталей типа колпачковая гайка с центрирующей головкой включающей конические, и сферические элементы представляет теоретический и практический интерес и является актуальной задачей.

На рис. 1 представлены пример переходов холодного выдавливания (ХВ) стальной детали сложной формы.



Рис. 1–, Формоизменение заготовки методом объемной холодной штамповки

**Объект исследования.** Процессы прямого и обратного холодного выдавливания гайки специальной для автомобилестроения.

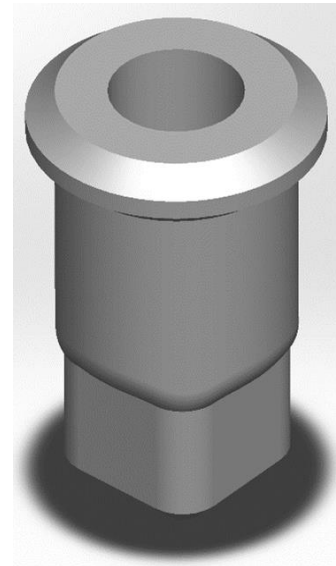
**Предмет исследования.** Зависимость напряженно-деформированного состояния от основных параметров процесса прямого и обратного холодного выдавливания деталей типа колпачковая гайка. Выполнены расчёты переходов с использованием метода конечных элементов (МКЭ), в частности программного продукта QFormVX.

**Практическое значение.** Данная деталь широко используется в автомобилестроении, сельском хозяйстве, и других отраслях хозяйства.

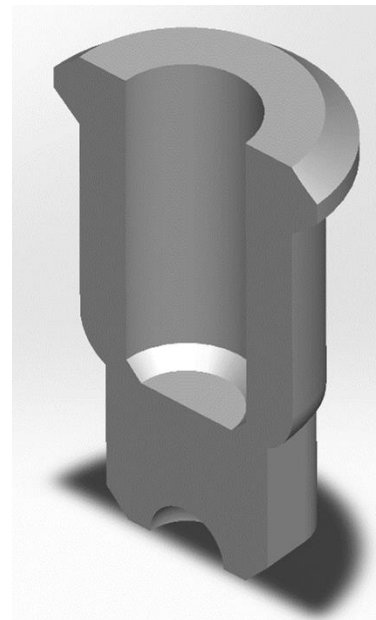
На рис. 2 представлена геометрическая модель гайки специальной для автомобилестроения.

В разрезе гайки видно полость, в которой нарезается резьба для соединения со ступицей колеса автомобиля.

Данную деталь можно получить точением, но в отход при таком способе уйдет более 50% металла, а это экономически недопустимо. Поэтому холодное выдавливание является экономически выгодным способом получения этой детали. Но в процессе освоения процесса холодного выдавливания: возникают проблемы: значительные усилия, снижающие стойкость рабочих деталей (пуансона и матрицы); вопросы качества детали в зоне перехода от цилиндра к квадратному хвостовику.



а



б

Рис. 2.– 3D модель:

а – детали гайка специальная для автомобилестроения, б – разрез детали

Существует несколько вариантов изготовления детали типа колпачковая гайка (рис.3). Эти все варианты имеют определённые негативные эффекты при холодной объемной штамповке образование заусенца, требуют последующую механическую обработку детали [2, 8].



нагрузку на него. Для того чтобы при выдавливании на втором переходе не образовывался наплыв на внешней поверхности фланца, уровень установки нижнего

На третьем переходе происходит окончательная формовка фланца. Это происходит в закрытом штампе, чтоб все полости заполнились металлом (рис. 8).

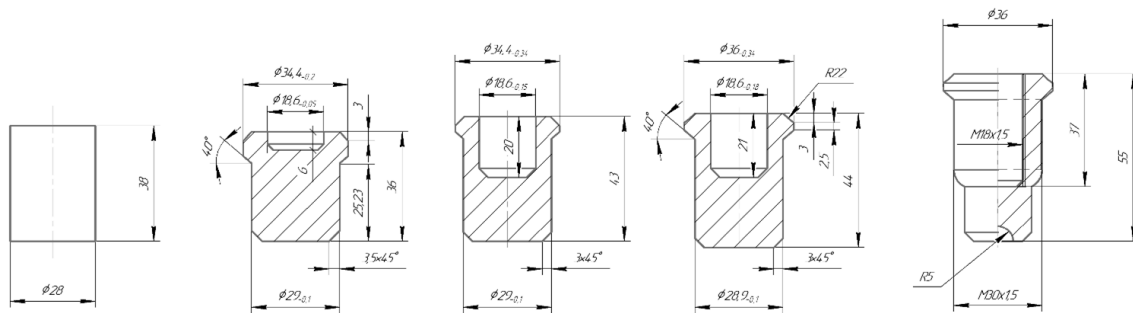


Рис. 4 – Предложенный вариант изготовления колпачковой гайки

пуансона на втором переходе ниже (на 1 мм), чем на первом.

На третьем переходе происходит калибровка фланца без образования заусенца. Размеры фланца (и допуски на них), получаемого на первом переходе, обеспечивают выдавливание излишков металла в цилиндрическую полость матрицы, которая служит, таким образом компенсатором. Образование фланца без заусенца основано на соотношении сопротивления металла выдавливанию в заусенец и реактивных сил трения, препятствующих прямому выдавливанию металла в зазор между цилиндрической поверхностью полости матрицы и оправкой. Между нижним пуансоном (выталкивателем) и торцом заготовки в конечный момент штамповки в третьем переходе должен иметься некоторый зазор (~1...2 мм).

На четвертом переходе комбинированным выдавливанием оформляется хвостовая часть детали и полость на полную заданную глубину. Как показали испытания, при изготовлении детали из стали марок 30 и 30кп промежуточного отжига и фосфатирования не требуется [2].

**Переходы штамповки.** В качестве исходной заготовки берем прутки диаметром 28 мм из стали 30кп и режем его на мерные части высотой 38 мм. (рис. 5)

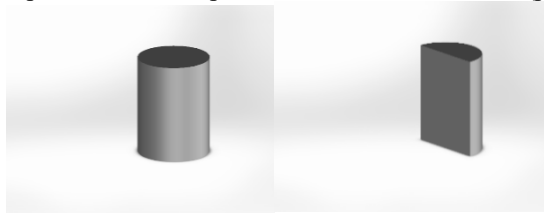


Рис. 5 – 3D модель исходной заготовки.

На первом переходе образовывается «черновой» фланец. Это происходит путем внедрения пуансона в заготовку, что также является наметкой отверстия для будущих операций. При этом процесс обратного выдавливания и металл течет в противоположную сторону пуансона (рис. 6).

На втором переходе закончилось формообразование фланца и происходит только процесс обратного выдавливания (рис. 7).

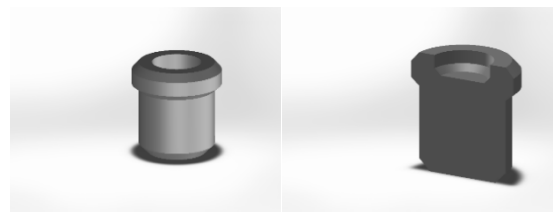


Рис. 6 – 3D модель первого перехода

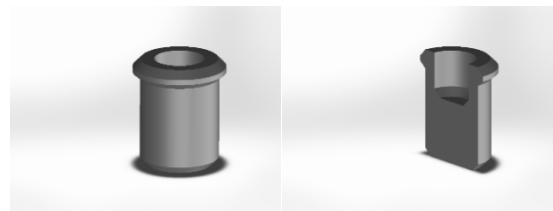


Рис. 7 – 3D модель второго перехода

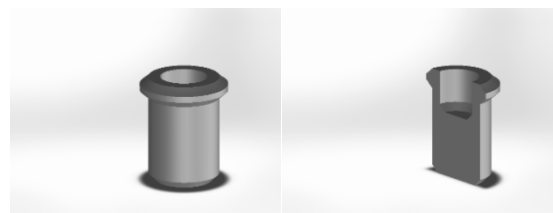


Рис. 8 – 3D модель третьего перехода

На четвертом переходе (рис. 9) сначала происходит процесс прямого выдавливания для формообразования квадратной части гайки под ключ. Затем после того, как выдавливаемый металл соприкаснется с выступом в матрице, происходит процесс комбинированного выдавливания, то есть течение металла происходит как вверх, так и вниз. Такой процесс позволяет обеспечить распределение течения металла в обе стороны, что способствует снижению сдвиговой деформации в зоне перехода от цилиндра к квадрату и, как следствие, повышает качество детали её прочностные характеристики.

С помощью метода конечных элементов с использованием программного продукта QForm VX,

мы исследовали процесс формирования фланца на первом переходе выдавливания [10-12]. Построены графики зависимости усилия деформации от хода пуансона и распределения интенсивности напряжений в ходе деформирования заготовки.

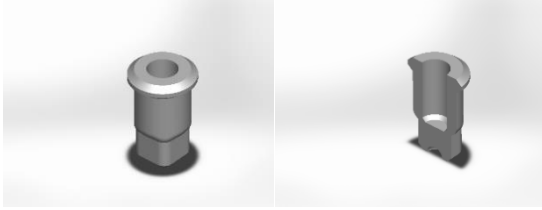


Рис. 9 – 3D модель четвертого перехода

На рис. 10 мы видим возрастание усилия на пуансоне при переходе к нестационарному состоянию. В результате нижнего положения пуансона его усилие достигает 25,2 т, что доказывает нам потребность в высококачественном инструменте и точности его изготовления.

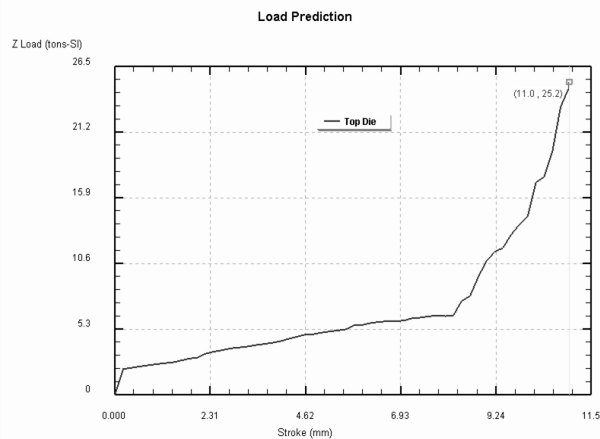


Рис. 10 – График зависимости усилия деформации от хода пуансона на первом переходе

График распределения интенсивности (см. рис. 11) напряжений показывает, что наибольшие напряжения возникают на фланце деформируемой детали.

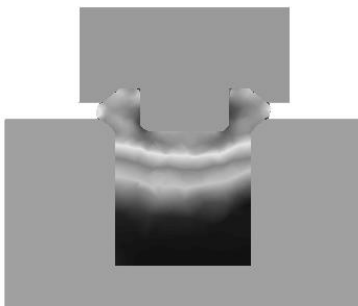


Рис. 11 – Распределение интенсивности напряжений

Как следует из рис. 10 и 11 при высадке фланца деформации достигают значительных величин, что

вызывает рост напряжений. Это приводит к возрастанию контактных нагрузок на пуансоне и матрице и может вызвать снижение их стойкости. На последующих переходах фланец будет только калиброваться без нагрузок значительной величины.

**Выводы.** В результате проведенной работы был проведен анализ первого перехода ХВ гайки для автомобилестроения. Начаты исследования последующих переходов. Были проанализированы альтернативные методы изготовления данной гайки холодным выдавливанием выбран оптимальный вариант ее изготовления.

В ходе работы были разработаны пуансон и матрица для первого перехода. Также была выбрана исходная заготовка в виде цилиндра. Был проведен анализ исходных данных.

Построены графики методом конечных элементов, которые наглядно показывают степени деформации заготовки при обратном выдавливании. Выяснилось, что наибольшее усилие нужно приложить именно для образования фланца, т. к. последующие переходы не образуют сам фланец, а только его калибруют.

На основе моделирования первого перехода и его анализа мы можем разрабатывать и приступать к анализу последующих переходов.

#### Список литературы

1. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. Евстратов В. А. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987. – 144 с.
2. «Высадка и другие методы объемной штамповки» Биллингман И., Машгиз, 1960.
3. «Технология конструкционных материалов» под редакцией Дальского А. М., Машиностроение, 2004.
4. А. с. 607635 СССР, М. Кл. В 21 К 21/08, В 21 J 5/00. Способ изготовления втулок с фланцами и ступицами / В. А. Евстратов, И. В. Куликов // Бюл. изобрет.–1978.–№19.–С.19.
5. Базык А. С., Головин В. А. О классификации деталей, получаемых холодной объемной штамповкой // Кузнеч.-штамповоч. пр-во.–1973.–№9.–С. 4–9.
6. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А. Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
7. Евстратов В. А. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания. Методические рекомендации. / В. А. Евстратов, О. М. Иванов, В. И. Кузьменко [и др.]. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 192с.
8. Холодная объемная штамповка. Справочник. Навроцкий Г. А. – М.: «Машиностроение», 1973. – 496 с.
9. Серета Б.П. Обробка металів тиском. Навчальний посібник. – Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної академії, 2009. – 343 с.
10. Василенко В. О., Горностай В. М., Кузьменко В. І.и др. Деякі підходи до вирішення задачі прямого видавлювання з уширенням, що враховують вплив тертя на кінцеве формоутворення та виникаюче навантаження./Вісник НТУ»ХПІ серія «Нові рішення в сучасних технологіях №66(972) 2012.–С.34-37
11. Виготовлення заготовок для корпусів коннекторів холодним видавлюванням / В. М. Левченко, Т. Л. Коворотний, В. І. Кузьменко, В. Я. Даниленко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 35 (1257). – С. 34–37.
12. Кузьменко В.І., Целуйко А.І. Використання методу скінченних елементів для дослідження процесу прямого холодного видавлювання стрижневих деталей // 36. наук. праць наук.-техн. Міжнар. конф. «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудування та металургії», – № 47. – Харків, 2015.

## References (transliterated)

1. *Osnovniye tekhnologii vyidavlivaniya i konstruirovaniya shtampov*. Evstratov V. A. – H.: Vischa shk. Izd-vo pri Hark. Un-te, 1987. – 144 p.
2. «*Vyisadka i drugiye metody ob'emnoy shtampovki*» Billigman I., Mashgiz, 1960.
3. «*Tekhnologiya konstruktivnykh materialov*» pod redaktsiyei Dalskogo A. Moscow., Mashinostroenie, 2004.
4. A. s. 607635 SSSR, M. Kl. V 21 K 21/08, V 21 J 5/00. *Sposob izgotovleniya vtulok s flantsami i stupitsami* / V. A. Evstratov, I. V. Kulikov // Byul. izobret. – 1978. – No19. – P.19.
5. Bazyk A. S., Golovin V. A. *O klassifikatsii detaley, poluchaemykh holodnoy ob'emnoy shtampovkoy* // Kuznech.-shtampovoch. pr-vo. – 1973. – No9. – P. 4–9.
6. Ovchinnikov A. G. *Osnovniye teorii shtampovki vyidavlivaniem na pressah* / A. G. Ovchinnikov. – Moscow.: Mashinostroenie, 1983. – 200 p.
7. Evstratov V. A. *Optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i konstruktivnykh shtampov dlya holodnogo i polugoryachego vyidavlivaniya. Metodicheskie rekomendatsii.* / V. A. Evstratov, O. M. Ivanov, V. I. Kuzmenko [i dr.]. – Moscow.: VNIITEMR, 1989. – 192 p.
8. *Holodnaya ob'emnaya shtampovka. Spravochnik*. Navrotsky G. A. – Moscow.: «Mashinostroenie», 1973. – 496 p.
9. Sereda B.P. *Obrobka metalliv tiskom. Navchalniy posibnik*. – Zaporizhzhya: Vidavnistvo ZaporizkoYi derzhavnoYi akademiyi, 2009. – 343 p.
10. Vasilenko V. O., Gornostay V. M., Kuzmenko V. Ii dr. *Deyaki plidhodi do virishennya zadachl pryamogo vidavlyuvannya z ushirennyam, scho vrahovuyut vpliv tertya na kintseve formoutvorenniya ta vinikayuche navantazhennya*. / Vesnik NTU «HPI» serIya «Novi rishennya v suchasniy tekhnologiyah No66(972) 2012. – P.34–37.
11. *Vigotovlennya zagotovok dlya korpuslv konnektorlv holodnim vidavlyuvannyam* / V. M. Levchenko, T. L. Kovorotniy, V. I. Kuzmenko, V. Ya. Danilenko // VIsnik NTU «HPI». SerIya: InnovatsIynI tekhnologIYi ta obladnannya obrobki materIalIv u mashinobuduvanni ta metalurgIYi. – Harklv.: NTU «HPI», 2017. – No 35 (1257). – P. 34–37.
12. *Kuz'menko V.I., Celujko A.I.* Viktorstannya metodu skinchennih elementiv dlya doslidzhennya procesu pryamogo holodnogo vidavlyuvannya strizhnevih detalej // Zb. nauk. prac' nauk.-tekhn. Mizhnar. konf. «Resursozberezhennya ta energoefektivnist' procesiv ta obladnannya obrobki tiskom u mashinobuduvannya ta metalurgii», – No47. – Harkiv, 2015.

Поступила (received) 10.11.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Лактионов Евгений Викторович (Лактіонов Євгеній Вікторович, Laktionov Yevgeny Viktorovich)** – студент кафедри обробки металів тиском, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-5928-4261>, тел (098) 91-93-336; e-mail: jackass95@gmail.com

**Кузьменко Виктор Иванович (Кузьменко Віктор Іванович, Kuz'menko Viktor Ivanovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри обробки металів тиском; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0003-0682-4767>, тел.: (050) 541-16-22; e-mail: vileta067@gmail.com

**Біба Николай Викторович (Біба Микола Вікторович, Biba Nikolay Viktorovich)** – кандидат технічних наук, директор фірми "MICAS Simulations Ltd." (г. Оксфорд), e-mail: [nick@qform3d.com](mailto:nick@qform3d.com)

**Левченко Владимир Николаевич (Левченко Володимир Миколайович, Levchenko Volodymyr Mykolayevich)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант, Донбаска державна машинобудівна академія (ДГМА); г. Краматорськ, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2411-4198>; e-mail: [goldangel271@gmail.com](mailto:goldangel271@gmail.com)